

機械システムの 状態監視と診断技術

日本機械学会【編】
井上剛志・兵藤行志【編著】

榊田 均・瀧本 孝治・高橋 亨
四阿 佳昭・山越孝太郎・西本 重人
劉 信芳

【共著】

コロナ社

編著者

- 井上剛志 (名古屋大学, ISO/TC 108/SC 5 国内委員会 委員長)
兵藤行志 (産業技術総合研究所, ISO/TC 108/SC 5 国内委員会 幹事)
-

執筆者一覧

- 1 章：榊田 均 (元 株式会社東芝)
2 章：瀧本 孝治 (新川電機株式会社)
3 章：高橋 亨 (NTN 株式会社)
4 章：四阿 佳昭 (日鉄物流株式会社)
5 章：山越孝太郎 (株式会社サーモグラファー)
6 章：西本 重人 (日本フィジカルアコースティクス株式会社)
7 章：劉 信芳 (株式会社高田工業所)
-

(所属は 2021 年 5 月現在)

序 論

本書は、ISO/TC 108/SC 5 Condition monitoring and diagnostics of machine systems（機械システムの状態監視と診断）において、その技術にかかわる国際標準化を推進する国内委員会メンバーを中心に企画・執筆したものである。このISO/TC 108/SC 5の範囲は「機械システムの状態監視と診断技術に関する手法と手順、装置要件の標準化を目的とする。すなわち、まず稼働中の機械システムに関連する選択された物理的パラメータを定期的または継続的に感知・測定および記録すること、つぎに、得られたデータおよび情報を変換（縮減）、分析、比較および表示すること、さらに最終的には、中間結果から機械システムの運転および保守に関する決定（判断）を支援することのそれぞれの標準化を目的とする」である。本書では、この「機械システムの状態監視と診断技術」のうちの七つの主要技術を取り上げ、まとめた。

機械システムの状態監視と診断技術の規格化（ISO/TC 108/SC 5）の歴史は、1988年に始まった。日本はその初回（Pメンバー 15か国）から現在に至るまで参加し、その技術や技術者認証制度の規格化に貢献してきた。このあたりの経緯に興味がある方は、日本非破壊検査協会の機関誌「非破壊検査」2020 Vol.69 No.9の特集「状態監視診断技術の動向」で「機械状態監視診断のISO規格に関するISO/TC 108/SC 5の経緯と現状」としてまとめたので参照されたい。そして、その国内活動をけん引してきた歴代SC 5委員長の神吉博氏（神戸大学名誉教授）、岩壺卓三氏（神戸大学名誉教授）、榊田均氏にはここに敬意を表する。

本書の内容の基盤となるこのISO/TC 108/SC 5の活動で最も特徴的なものは、世界的に共通でかつ客観的な個人の技術力評価のための機械の状態監視診断技術者認証の国際規格ISO 18436シリーズ（機械システムの状態監視と診断

技術者の認証)を策定してきたことである。規格としてはこれまでに ISO 18436-2 (振動), ISO 18436-4 (現場における潤滑油分析), ISO 18436-5 (分析室における潤滑油分析), ISO 18436-6 (アコースティック・エミッション, AE), ISO 18436-7 (サーモグラフィ), ISO 18436-8 (超音波)が発行されてきた。そして、日本ではこれらの規格に基づいて、2021年現在までに、振動(2004年から4カテゴリで合計5570人(2021年4月現在)), トライボロジー(2009年度から3カテゴリで合計1364名(2021年4月時点見込み))とサーモグラフィ(2016年度から2カテゴリで合計180名(2021年4月現在))の技術者認証が実施されている。ISO/TC 108/SC 5 国内委員会では、この分野技術の啓蒙と活動の紹介のために、日本機械学会主催で「講習会：グローバル技術者必須!! 機械の状態監視と診断技術, 基礎・実践ノウハウと応用例・規格」を2007年以来計5回企画し、実施してきた。特にこの直近2回は反響が大きく、昨今のIoT時代の到来による同分野技術へのニーズ・関心の急激な高まりとともに、同技術分野への期待を強く感じた。本書は、これらの講習会の項目・内容を精査し、各分野の国内専門家を中心に実用的側面に重点をおいてまとめたものである。

一方で、世界における「機械システムの状態監視と診断」とそのISO規格化はすでにその視点を動かしている。基礎技術に関する規格化は一巡し、現在は技術者と経営者の中間において、「機械システムを資産管理する」ための状態監視と診断技術の規格化に、急速かつ発展的に移行しつつある。ごく近い将来(数年以内)に、世界的にはこのような「機械システムの資産管理」のための認証制度が規格化され、日本においても実施されるであろう。

以上の経緯と背景のもと、本書は、「機械システムの状態監視と診断技術」にまだまったく知識や経験がない方や、これから同技術を用いて業務を行う新人・若手技術者にとって、その技術的な概要を網羅的に学ぶことができる入門書として執筆した。本書で学んだ後には、上記のISO規格に基づく技術者認証にもスムーズに移行して取り組むことができる内容となっている。また同時に本書は、機械システムを資産管理する立場の技術者・経営者が「機械システム

の「状態監視と診断技術」の概要を俯瞰して押さえ、資産管理的な観点で視野を広げ、適用を考えるのに適した実用書でもある。ぜひ、本書を通して、国内のさまざまな立場の技術者・経営者の方々が「機械システムの状態監視と診断技術」を身近な技術として慣れ親しみ、本書がこのIoTの時代におけるこれらの技術の活用・普及のさらなる一助となることを本書全体の構成や推敲にかかわった者として期待する。

2021年4月

編著者一同

■ 本書内の図表について ■

本書では図表はすべてモノクロで示している。しかし、各章で示した図表のうち、モノクロではわかりづらいと思われるものは、カラーでコロナ社のウェブサイト上に掲載しており、下記の二次元コード、ならびにURLの関連資料より見ることができる。なお、ウェブサイト上にカラー図の掲載がある図表は、各図表のキャプションに*を付けて示したのでぜひ活用されたい。

<https://www.coronasha.co.jp/np/isbn/9784339046717/>



目 次

1. 機械システムの状態監視と診断に関する ISO 概論

1.1 はじめに	1
1.2 ISO 組織	2
1.3 日本における ISO の対応・検討	4
1.4 機械の状態監視と診断とは	5
1.5 機械システムの状態監視と診断に関する ISO 規格	7
1.5.1 性能データによる機械の状態監視と診断の ISO 規格概要	9
1.5.2 振動を用いた機械の状態監視と診断の ISO 規格概要	15
1.5.3 トライボロジーを用いた機械の状態監視と診断の ISO 規格概要	19
1.5.4 赤外線熱画像を用いた機械の状態監視と診断の ISO 規格概要	24
1.5.5 AE を用いた機械の状態監視と診断の ISO 規格概要	27
1.5.6 超音波を用いた機械の状態監視と診断の ISO 規格概要	29
1.5.7 電気兆候解析を用いた機械の状態監視と診断の ISO 規格概要	32
1.6 機械システムの診断と予測技術に関する ISO 規格	35
1.6.1 診断技術に関する ISO 規格概要	35
1.6.2 予測に関する ISO 規格概要	37
1.7 特定機器の診断技術の ISO 規格	39
1.7.1 風力発電設備の診断技術の ISO 規格概要	39
1.7.2 水力発電設備の診断技術の ISO 規格概要	43
1.8 機械の状態監視と診断技術者認証	48
1.8.1 機械の状態監視と診断技術者認証に関する ISO 規格概要	48
1.8.2 日本における機械の状態監視と診断技術者認証	50
1.9 おわりに	50
引用・参考文献	51

2. 大型高速回転系の状態監視と振動診断

2.1 はじめに	53
2.2 振動測定パラメータ（変位，速度，加速度）	54
2.3 アメリカ石油協会（API）規格と変位センサの原理	57
2.3.1 アメリカ石油協会（API）規格	57
2.3.2 渦電流式変位センサ	57
2.4 ISO 規格	60
2.4.1 機械振動の測定と評価に関する ISO 規格	60
2.4.2 ISO 7919（軸振動の測定と評価）	62
2.4.3 ISO 10816（ケーシング振動の測定と評価）	65
2.4.4 振動測定方法の選定	67
2.5 代表的な振動解析法	69
2.5.1 時間領域と周波数領域の解析	70
2.5.2 空間領域の解析	70
2.5.3 位相解析	72
2.6 グラフ表示	74
2.6.1 トレンドグラフ	74
2.6.2 オービット	74
2.6.3 ポーラ線図	75
2.6.4 ボード線図	75
2.6.5 スペクトル線図	76
2.6.6 ウォーターフォール図とカスケード図	77
2.6.7 フルスペクトル線図	77
2.6.8 S-V 線図	78
2.6.9 キャンベル線図	78
2.7 事例紹介	79
2.7.1 オイルホワール（ロータキット事例）	79
2.7.2 オイルホワール（実際の蒸気タービン事例）	81
2.7.3 ラビング（実際の蒸気タービン事例）	82
2.7.4 熱曲がり（実際の蒸気タービン事例）	83
2.7.5 ミスアライメント（ロータキット事例）	85

2.8 おわりに	87
引用・参考文献	87

3. 軸受の状態監視と振動診断（風力発電装置の事例）

3.1 はじめに	89
3.2 風力発電装置と軸受	89
3.2.1 風力発電装置の基本構造	89
3.2.2 主軸受	91
3.2.3 増速機用軸受	91
3.2.4 発電機用軸受	92
3.3 風力発電装置の状態監視	93
3.3.1 風力発電装置用軸受の特徴	93
3.3.2 状態監視の導入効果	94
3.3.3 状態監視の目的	96
3.3.4 振動診断	98
3.4 軸受の損傷形態	100
3.4.1 ピーリング	100
3.4.2 フレーキング	101
3.4.3 スミアリング	102
3.4.4 圧こん	103
3.4.5 フレッチング、フォールスプリネリング	103
3.4.6 クリープ	104
3.4.7 電食	105
3.4.8 保持器破損	106
3.5 転がり軸受の振動と診断技術	107
3.5.1 軸受の音響診断	107
3.5.2 軸受の損傷と振動進展	107
3.5.3 振動の周波数分析による診断	109
3.5.4 軸受の特徴周波数	112
3.6 風力発電装置での状態監視	114
3.6.1 風力発電装置の状態監視の難しさと重要性	114
3.6.2 発電機の軸受の損傷事例	116

3.6.3 状態監視による検出と人間の感覚との比較	118
3.7 おわりに	119
引用・参考文献	119

4. 潤滑剤分析による状態監視と診断

4.1 はじめに	121
4.1.1 潤滑剤分析の特徴	122
4.1.2 潤滑剤分析法の分類	124
4.2 摩耗粉分析による診断法：フェログラフィ	125
4.2.1 フェログラフィの原理	125
4.2.2 摩耗粉の形態と潤滑状態	127
4.2.3 摩耗粉濃度と状態監視	130
4.2.4 フェログラフィの適用事例	134
4.3 発光分光分析による診断法：SOAP	136
4.3.1 SOAPの原理と特徴	136
4.3.2 SOAPの適用事例	137
4.4 コンタミネントの計測による診断法	139
4.4.1 コンタミネーション管理の必要性	139
4.4.2 コンタミネントの計測方法と汚染度の評価法	141
4.4.3 コンタミネーション管理の事例	144
4.5 潤滑管理の一般的な流れと油サンプリングの留意点	145
4.6 おわりに	147
引用・参考文献	150

5. 赤外線サーモグラフィによる状態監視と診断

5.1 はじめに	152
5.2 赤外線サーモグラフィの原理	155
5.3 赤外線サーモグラフィ計測の特徴	156
5.3.1 赤外線サーモグラフィ計測のメリット	156
5.3.2 伝導, 対流, 放射	156

5.3.3	反射, 放射, 透過	158
5.3.4	見かけの温度	161
5.4	赤外線サーモグラフィを用いた機械システムの状態監視	162
5.4.1	効果的な運用のための視点	162
5.4.2	劣化モード (発熱モード)	163
5.4.3	評価方法	164
5.4.4	判読方法	166
5.4.5	零負荷時温度と温度上昇分の測定	168
5.4.6	管理基準の設定	170
5.5	状態監視の評価	172
5.5.1	絶対評価	172
5.5.2	相互評価	174
5.5.3	相対評価	174
5.6	データ取得上の注意点	176
5.6.1	測定時の留意点一覧	176
5.6.2	測定時の留意点 (フォーカス設定)	177
5.6.3	測定時の留意点 (温度設定)	177
5.6.4	判定・評価できるデータ取得 (熱画像取得)	177
5.6.5	判定・評価できるデータ取得 (画像以外の情報)	178
5.7	事例紹介	180
5.7.1	電気系の事例	180
5.7.2	機械系の事例	183
5.8	おわりに	185
	引用・参考文献	185

6. アコースティックエミッション (AE) による 状態監視と診断

6.1	はじめに	187
6.2	AEの基礎知識	188
6.2.1	き裂の進展によるAE	189
6.2.2	摩耗の進展によるAE	190

6.2.3	AE 検査によるき裂発生位置の特定	191
6.3	AE 検査	192
6.3.1	AE センサ	192
6.3.2	AE 装置	193
6.3.3	IoTへの対応	193
6.3.4	AE の伝播と減衰	193
6.3.5	高温部の AE 検査	194
6.4	転がり軸受の故障診断	195
6.5	歯車機構の故障診断	199
6.6	設備の簡易診断例	200
6.6.1	エスカレータの診断	200
6.6.2	プレス機の診断	201
6.6.3	メカニカルシールの診断	202
6.6.4	ロボットの診断	203
6.6.5	発電用風車の診断	205
6.6.6	加工工具の診断	207
6.6.7	射出成型機の診断	209
6.6.8	製品のき裂有無の診断	211
6.6.9	研削加工の診断	213
6.6.10	溶接加工の診断	213
6.6.11	設備の簡易診断のまとめ	214
6.7	静止物の簡易診断例	215
6.7.1	タンクや配管のき裂診断	215
6.7.2	腐食の診断	217
6.7.3	放電による破壊の診断	219
6.8	おわりに	220
	引用・参考文献	220

7. 電動機の電流兆候解析による状態監視と診断

7.1	はじめに	222
7.2	誘導電動機	224
7.2.1	誘導電動機の種類	224

機械システムの状態監視と 診断に関する ISO 概論

1.1 はじめに

ISOとは**国際標準化機構**(ISO: International Organization for Standardization)の略号であり、1947年に設立された国際規格を開発している団体組織あるいはその規格を指す。図 1.1 に示すように ISO の番号体系は先頭に ISO の文字が付き、つぎにその規格の番号がくる。最近ではシリーズ化されているものが多く、その場合、番号の後ろにさらに“-1”(パート1)のようにハイフンと番号が付けられる。シリーズ化された規格は、例えば“-2, -3”(パート2, パート3)と続くが、通常はパート1がそのシリーズの総論を示す**一般指針**(general guideline)となっており、それに続くパート2, パート3では、例えば機種展開などが続いていく。

International Organization for Standardization

↓
ISO

ISO 18436 <ISOの番号>

ISO 18436-1:2012

ISO 10816-3:2009/Amd 1:2017

図 1.1 ISO と規格番号体系

注意が必要なのは、ISO 規格は頻繁に改訂されるということである。例えば、初版発行後3年とその後5年ごとに見直しが行われ、多い場合は数年ペースで改訂されていることがある。その最終改訂版は改定された年が ISO 番号の末尾

のロン（:）の後ろに示されるので、ISO を参照する際には必ずこの年度を確認しておく必要がある。例えば、2020 年現在では ISO 18436-1:2012 が一番新しい改訂版であり、同じ番号で以前にあった ISO 18436-1:2008 はこの 2012 版改訂時に自動的に廃版となっている。

さらにもう一つ、Amd（アmendメント：付録）という発行形態もある。例えば ISO 18436-3:2009 が現行の規格であっても、Amd 1:2017 が出された場合（この Amd は表などに関するものが多い）は、元の規格 ISO 18436-3:2009 中の対応する箇所は廃止されていることに注意が必要である。本書で記述した内容は 2021 年 3 月時点であり、その後 ISO の改定等で変更されている場合もあるので、該当の規格を使用する場合は最新版を参照されたい。

1.2 ISO 組織

ISO 組織について、図 1.2 に示す。ISO の中枢は、総会、評議会、中央事務局で全体の活動や規格を管理している。実際の規格の開発作業は**技術管理委員会**（TMB：Technical Management Board）の傘下に多数の**技術委員会**（TC：Technical Committee）または**専門委員会**と呼ばれる組織がありそこで行われ

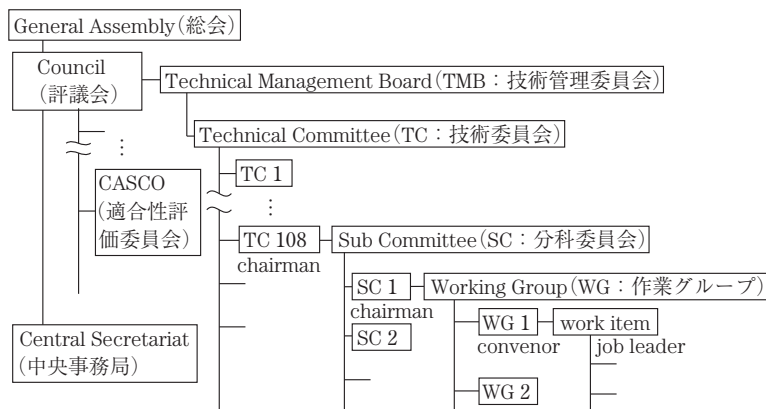


図 1.2 ISO 審議委員会の構成

る。この TC はある特定の技術（比較的広い範囲）の規格にかかわる技術委員会である。TC の例を図 1.3 に示す。例えば TC1 の技術範囲は「ねじ」で、ISO ねじに関する規格を扱っている。

TC 1 Screw threads (1947) ←ISOネジ	TC 135 Non--destructive testing (1969)
}	}
TC 4 Rolling bearing (1947)	TC 227 Springs (2004)
}	}
TC 60 Gears (1947)	TC 269 Railway applications (2012)
}	}
TC 108 Mechanical vibration and shock (1963) and condition monitoring (2006名称変更)	TC 304 Healthcare administration (2016)
}	}
TC 123 Plain bearings (1967)	TC 324 Sharing economy (2019)
}	}

図 1.3 TC の例

このそれぞれの TC の傘下に**分科委員会**（SC：Sub Committee）が付く。ISO では、頻繁に会議を行って規格の開発や方針を検討しており、近年では SC がこの会議を開催する単位となる場合が多い。この TC や SC のまとめ役は**議長**（chairman）である。

SC の中に**作業グループ**（WG：Working Group）が組織化される。WG は実際に規格を開発するグループであり、SC 5 の場合は 6, 7 名から十数名の少人数で作業することが多い。WG のまとめ役は**コンビーナ**（convenor）である。そして、この WG で個々の規格の原案、あるいは規格改定原案の作成作業が行われる。個別の規格ごとに行われるこれらの作業は Work item と呼ばれる。

本章の内容に関する規格は、TC 108「**機械振動と衝撃および状態監視**（Mechanical vibration, shock and condition monitoring）」の下部組織である SC 5「**機械システムの状態監視と診断**（Condition monitoring and diagnostics of machine systems）」で検討・開発されている。TC 108「**機械の振動、衝撃と診断**」は 1963 年から始まり、例えば蒸気タービン・発電機の振動規格などもこの TC 108 で作られている。そして、TC 108/SC 5「**機械システムの状態監視と診断**」は 1993 年から活動をしている。

4 1. 機械システムの状態監視と診断に関する ISO 概論

TC の総数は非常に多く、現時点で廃止も含めて 334 ある^{1)†}。そして、2019 年にはシェアリングエコノミーに関する TC が開始されているように、毎年新しい TC が設立されている。このように多数の TC で多数の規格が開発されているので、国際規格に少しでもかかわりがある場合はぜひ ISO のホームページを参照し、関連している技術に関する規格の状況を調べていただくことを推奨する。

1.3 日本における ISO の対応・検討

日本における ISO の審議団体の一部を図 1.4 に説明する。日本としての窓口は経済産業省にある**日本産業標準調査会**（JISC：Japanese Industrial Standards Committee）で、これを**日本規格協会**（JSA：Japanese Standards Association）がサポートしている。実際の規格原案（を含む改訂）の検討は、各 TC の関連

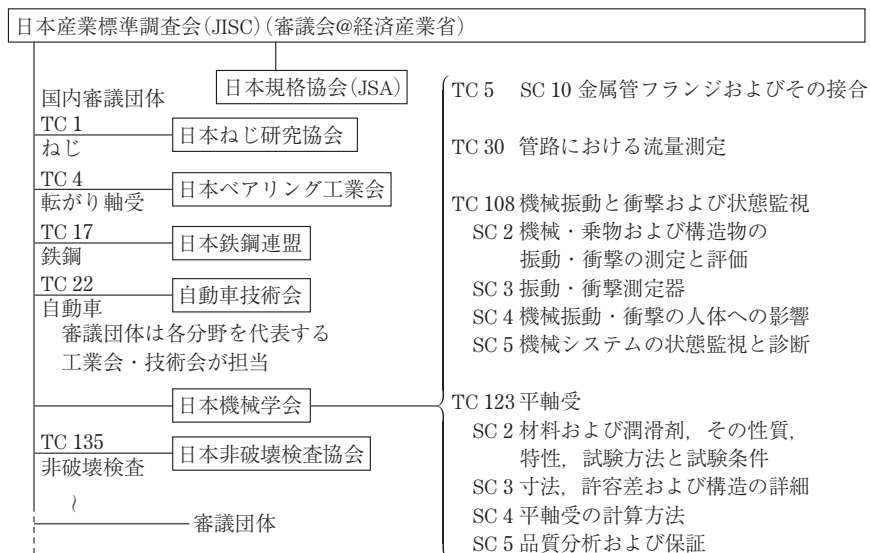


図 1.4 ISO 審議団体

† 肩付き番号は章末の引用・参考文献を示す。

技術に対応した工業会や研究分科会が担当となり実施している。例えば自動車の TC 22 では自動車技術会が担当となっている。ただし、TC 5, 30, 108, 123 などの分野では密接にかかわりのある工業会がないため、日本機械学会が担当となりその検討を委託されている。

1.4 機械の状態監視と診断とは

機械の状態監視と診断とは何かを図 1.5 を用いて説明する。日本産業規格 (JIS : Japanese Industrial Standards) の JIS Z 8115 によると「**保全** (maintenance) とは、設備を運転可能状態に維持し、故障や欠陥などを回復するための処置および活動。保守あるいは整備ともいう」と定義されている。ここで、**故障** (failure) とは、機械に求められる機能を遂行するための能力の喪失を指し、**欠陥** (fault) とは、機械要素または構成要素が**異常** (abnormality) もしくは劣化を示した機械の状態を指す。欠陥は故障を引き起こすことがあるが、故障なしでも存在し、故障と欠陥は明確に異なる。

保全：設備を運転可能状態に維持し、故障や欠陥などを回復するための処置および活動。保守あるいは整備ともいう。

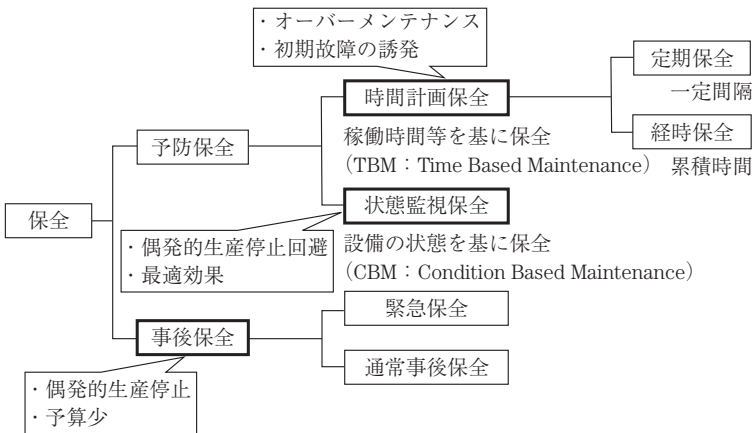


図 1.5 保全方式の分類 (JIS Z 8115 より)

索引

【あ】		応力波	187	逆起電力	224
アコースティックエミッション	187	オービット	70, 74	キャンベル線図	78
圧こん	103	温度勾配による判読	166	キュリー温度	194
圧電効果	192	温度上昇限度	172	共振	192
圧電素子	192	温度上昇予測	166	極数	228
アンバランス	70	温度パターンによる判読	166	極通過周波数	229
【い】		【か】		き裂	187
異常	5	外挿に基づく推定	39	き裂発生位置	191
異常摩擦	122	回転子	224	【く】	
位相解析	59, 69	回転子パーの本数	236	空間磁束線	224
位相角	72	回転周波数	228	空間領域	69
一般指針	1	回転速度	228	空中伝播	29
【う】		外輪	92	クリアランス	139
ウェーブガイド	194	外輪欠陥周波数	240	グリース潤滑	135
ウォーターフォール図	77	化学分析	124, 148	クリープ	104
渦電流式変位センサ	57	角振動数	55	【け】	
運用および保守点検	95	確率密度関数	69	ケーシング振動	53
【え】		かご型	224	欠陥	5
影響因子	38	過酷度	25	欠陥周波数	109
エスカレータ	200	過酷度解析	40	研削加工	213
エネルギー	189	可視光	154	研削焼け	213
——の総量	204	カスケード図	77	減衰	193
エネルギー分布	201	加速度	54	現場油分析	22
遠赤外線領域	155	簡易診断	11	【こ】	
エンベロープ処理	110	監視優先度	40	剛性軸	68
【お】		【き】		構成部品重要度係数	40
オイルホイップ	71	機械保護システム	57	高速フーリエ変換	69
オイルホワール	71	危険速度	75	広帯域振動	63
		技術委員会	2	高調波解析	243
		技術管理委員会	2	国際標準化機構	1
		議長	3	黒体	159
		基本周波数	232		

故障	5	周波数	55	すべり周波数	228
故障値	38	周波数分析	31	スポーリング	101
故障モード	37	周波数領域	69	スマアリング	102
故障モード影響と過酷度解析	39, 96	重要度	96	スロット通過周波数	230
故障モード解析	40	ジュール熱	163		
故障モード兆候解析	43, 99	主効果パラメータ	13	【せ】	
故障モード優先度	96	潤滑管理	145	正弦振動	54
故障モード優先度係数	40	潤滑剤分析	122	清浄度	139
固体伝播	29	潤滑剤分析プログラム	150	正常摩耗	123, 127
固定子	224	潤滑油	126	静的偏心	236
固定子スロット数	230	蒸気タービン	59	成分	124
転がり軸受	195	状態監視システム	94	精密診断	11
コンタミネラント	124	状態監視保全	6	赤外線サーモグラフィ	152
コンタミネーション	139	状態監視目標値	170	赤外線熱画像	24
コンタミネーション管理	144	浄油機	144	赤外線放射エネルギー	153
コンタミネーション粒子	124	初期進展	108	切削摩耗粒子	128
コンピーナ	3	初期なじみ	122	絶対管理基準値	170
		信号処理	17	絶対評価	164
【さ】		進展距離	189	設備調査	11
最高許容温度	172	振動診断	15	設備利用率	94
最大高調波ひずみ率	243	振動数	55	セラミック絶縁軸受	93
作業グループ	3	振動ベクトル	72	零負荷時温度	169
三相誘導電動機	32	真の温度	153	全高調波ひずみ率	243
サンプリング口	146	振幅	55	全摩耗粒子濃度	131
		振幅変調	231		
【し】		信頼性と危険度評価	12	【そ】	
磁界	226			相互評価	164
時間計画保全	6	【す】		相対評価	164
時間領域	69	水力発電設備	43	増ちょう剤	135
しきい値	99	すき間	139	側帯波	33, 230
軸受	90	スクリュウの摩耗	209	速度	54
軸受周波数	109	ステファン・ボルツマン定数	155	損傷周波数	109
軸振動	53				
事後保全	6	ステファン・ボルツマンの		【た】	
磁束密度	126	法則	155	対流	157
実効値	111, 190, 197	ストライエーション	129	滞留	108
シビア摩耗	129	スペクトル	70	タンク	215
射出成型機	209	スペクトル線図	76	タンクの腐食	217
周期	55	スペクトログラム	116	単振動	54
摺動	202	すべり	227, 228	弾性軸	68
		すべり回転数	228	弾性波	187

鍛造加工	211	ナセル	89	評価基準Ⅱ	63
【ち】		【に】		疲労き裂	195
知識ベース型	36	日本規格協会	4	【ふ】	
超音波	29	日本産業標準調査会	4	風力発電設備	205
【て】		日本産業規格	5	フェログラフィ	124, 125
定量的ベースライン方法	29	ニューカーク効果	82	フォールスプリネリング	104
定量フェログラフィ	125	【ね】		負荷域	113
データ駆動型	36	熱エネルギー	157	負荷圏	195
電気兆候解析	32	熱伝導率	161	復調	232
電源周波数	228	粘度	126, 135	腐食	217
電磁波	154	【の】		フラッシング	146
電食	93, 105	濃度	125	フルスペクトル線図	77
伝導	157	【は】		フレーキング	101
電動機の電流兆候解析	33, 222	配管	215	ブレード	205
転動体	92	配管の腐食	218	プレス機	201, 207
転動体自転周波数	241	排脂口	146	フレッチング	103
伝熱	157	ハイスポット	72	フローチャート	16
【と】		歯車機構	199	分科委員会	3
透過光	158	バスタブカーブ	122	分析フェログラフィ	125
透過率	159	発光分光分析装置	124	【へ】	
同期回転周波数	228	発光分光分析法	136	ベクトル線図	72
同期速度	228	発生数	189	変位	54
等級	24	発電機	205	【ほ】	
同種比較	98	発熱モード	163	放射	157
動的偏心	236	反射光	158	放射光	158
動粘度	135	反射率	158, 159	放射率	159
時計回り	73	判定基準	170	放電	219
溶込み量	214	反時計回り	73	放電の電荷量	219
突発型	189	バンドパスフィルタ	110	ボード線図	75
トライボロジー	150	【ひ】		ポーラ線図	72, 75
塗料	161	ピーリング	100	保持器	106
トレンド監視	98	ピエゾ効果	192	保持器回転周波数	241
【な】		ピエゾ素子	192	保持器破損	106
ナイキスト線図	72	ヒストグラム	141	保全	5
内輪	92	ピッチング	129	ボルトのき裂	212
内輪欠陥周波数	240	評価基準Ⅰ	63	【ま】	
				巻き線型	224

摩擦係数	190	メンテナンス戦略	150	予測に基づく推定	39
摩擦熱	163			予防保全	6
末期進展	108	【も】			
摩 耗	122, 188, 197	モートン効果	85	【ら】	
摩耗過酷度指数	131	モニタリングの優先度・監視		ラビング	82
摩耗粉	124	優先度	96		
摩耗粉濃度	125	【ゆ】		【り】	
摩耗粉分析法	124	誘導結合プラズマ発光分光		リサーチ図形	69
摩耗粒子	124	分析法	136	粒子分析	124
摩耗量	190	誘導電動機	224		
【み】		【よ】		【れ】	
見かけの温度	153, 162	溶 剤	126	連続型	190
ミスアライメント	70	溶接加工	213		
【め】		余寿命	37	【ろ】	
メカニカルシール	202	予 測	37	ロボット	203
◇					
【数字】		AE センサ	192	FIT 価格	95
2次効果パラメータ	13	AE 装置	193	FIT 制度	90
【英字】		CD	9	ICP 発光分光分析法	136
AE 検査	187	DIS	9	RMS	190, 197
AE の周期	195	DNV	93	SOAP	124, 136
AE の周波数	195	FDIS	9	S-V 線図	78
		FFT	69		
		FIP 制度	95		

一編著者・著者略歴一

井上 剛志 (いのうえ つよし)

- 1991年 名古屋大学工学部電子機械工学科卒業
1993年 名古屋大学大学院工学研究科修士課程修了(電子機械工学専攻)
1993年 オークマ株式会社勤務
1995年 名古屋大学助手
2000年 博士(工学)(名古屋大学)
2001年 名古屋大学大学院講師
2005年 名古屋大学大学院助教授(2007年から准教授に呼称替え)
2012年 名古屋大学大学院教授
現在に至る
- 2004年 日本機械学会 ISO/TC 108/SC 5 委員会幹事
2012年 日本機械学会 ISO/TC 108/SC 5 委員会委員長

榊田 均 (さかきだ ひとし)

- 1977年 東京工業大学工学部機械工学科卒業
1979年 東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了(機械工学専攻)
1979年 株式会社東芝勤務
2003年 博士(工学)(埼玉大学)
2012年 株式会社東芝退社, 講習会講師, 非常勤講師等
- 2005年 日本機械学会 ISO/TC 108/SC 5 委員会委員長
2008年 日本機械学会機械状態監視診断技術者カテゴリ-IV

高橋 亨 (たかはし とおる)

- 1990年 静岡大学工学部電気工学科卒業
1992年 静岡大学大学院工学研究科修士課程修了(電気工学専攻)
1992年 NTN株式会社勤務
2002年 静岡大学電子工学研究所に出向
2005年 NTN株式会社勤務
現在に至る
- 2016年 日本機械学会 ISO/TC 108/SC 5 委員会委員

兵藤 行志 (ひょうどう こうじ)

- 1983年 慶應義塾大学工学部機械工学科卒業
1985年 慶應義塾大学大学院工学研究科修士課程修了(機械工学専攻)
1985年 工業技術院機械技術研究所勤務
2001年 産業技術総合研究所勤務
現在に至る
- 2012年 日本機械学会 ISO/TC 108/SC 5 委員会幹事
2018年 非破壊試験技術者(JIS Z 2305 準拠, TT レベル 3)

瀧本 孝治 (たきもと こうじ)

- 1977年 津山工業高等専門学校電気工学科卒業
1977年 新川電機株式会社勤務
1994年 新川センサテクノロジー株式会社勤務
2008年 新川電機株式会社勤務
現在に至る
- 1997年 API 670 4th Edition Task Force Member
2001年 日本機械学会 ISO/TC 108/SC 5 委員会委員

四阿 佳昭 (しあ よしあき)

- 1981年 名古屋大学工学部機械工学科卒業
1983年 名古屋大学大学院工学研究科修士課程修了(機械工学専攻)
1983年 新日本製鐵株式会社(現 日本製鐵株式会社)勤務
2017年 日鉄住金物流株式会社(現 日鉄物流株式会社)勤務
現在に至る
- 2005年 日本機械学会 ISO/TC 108/SC 5 委員会委員

山越 孝太郎（やまこし こうたろう）

- 1984年 東海大学工学部電子工学科卒業
- 1984年 日本電気三栄株式会社（現 日本アビオニクス株式会社）勤務
- 2010年 一般社団法人日本赤外線サーモグラフィ協会に Outreach
- 2014年 株式会社サーモグラフィアー勤務
現在に至る

西本 重人（にしもと しげと）

- 1981年 関西大学工学部機械工学科卒業
- 1983年 関西大学大学院工学研究科博士課程前期課程修了（機械工学専攻）
- 1985年 光洋精工株式会社（現 株式会社ジェイテクト）勤務
- 1992年 株式会社エヌエフ回路設計ブロック勤務
- 1995年 非破壊検査株式会社勤務
- 2000年 日本フィジカルアコースティクス株式会社勤務
- 2019年 藤村クレスト株式会社兼務
現在に至る

劉 信芳（りゅう しんほう）

- 1984年 中国江蘇大学農業機械工学部農業機械工学科卒業
- 1987年 中国江蘇大学大学院農業機械工学研究科修士課程修了（農業機械専攻）
- 1987年 中国江蘇大学助手
- 1996年 中国江蘇大学助教授
- 2001年 九州工業大学大学院情報工学研究科博士後期課程修了（情報システム専攻），
博士（情報工学）
- 2001年 株式会社高田工業所勤務
現在に至る

- 2020年 日本機械学会 ISO/TC 108/SC 5 委員会委員

機械システムの状態監視と診断技術

Condition Monitoring and Diagnostics Technique of Machine Systems

©一般社団法人 日本機械学会 2021

2021年6月21日 初版第1刷発行

検印省略

編 者 一般社団法人 日本機械学会
発 行 者 株式会社 コロナ社
代 表 者 牛 来 真 也
印 刷 所 美研プリンティング株式会社
製 本 所 有限会社 愛千製本所

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発 行 所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <https://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-04671-7 C3053 Printed in Japan

(齋藤)



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。
購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。
落丁・乱丁はお取替えいたします。